

ホームドア設置が列車運行に与える影響

足立 茂章

近年、首都圏の鉄道路線では、転落事故や接触事故防止のためホームドアの設置が進んでいる。一方列車運行面では、従来の停車時間にホームドアの稼働時間を付加する必要があるため、列車の発着間隔が縮小され、いったん停車時間が超過すると後続列車群の減速や駅間停止を誘発するリスクが高まる。また、ホームドア設置やワンマン運転化により、鉄道係員の作業が変化することで、停車時間の変動も確認されている。本稿では、すでにホームドアを設置した路線を対象に、設置後および運転方法の変更による停車時間の変化を分析し、ホームドア設置が列車運行に与える影響について考察する。

キーワード：ホームドア、ワンマン運転、停車時間、重回帰分析

1. はじめに

近年、国内の鉄道路線では、図1に示すとおり転落事故や接触事故防止のためホームドアの設置が進んでいるが、さらなる設置に対する議論が高まっている。

2011年には「ホームドアの整備促進等に関する検討会」が国と鉄道事業者などによって設置され、特に1日利用者数が10万人以上の駅においてホームドアまたは内方線付JIS規格点状ブロックの整備を優先して実施することとされた。しかし、ホームドア設置は、車両や駅ホームの改修および維持費用も含め、多額の設備投資が必要になるとともに、設置には時間を要する状況となっている。ここ数年では、従来に比べ工期や投資が縮小され、構造も改良したさまざまなタイプのホームドアが開発されている。

ホームドアを設置した場合の列車運行面に着目すると、既存路線に新たにホームドアを設置した場合、従来設定されている停車時間にホームドアの稼働時間（可動ステップ設置駅は可動ステップ稼働時間）を付加する必要があるため、各駅の停車時間は増加し、所要時間も増加する。特に朝ラッシュ時の稠密運行時には、先行列車との発着間隔が縮小することで、後続列車への遅延伝播リスクが高まる。

しかし、ホームドアの設置に伴い、駅係員や車掌が行う駅停車中の確認作業がホームドア付帯の支障物センサーによって軽減されることに加え、路線によってはワンマン運転化され、安全確認時間の縮小または安定化に寄与していると考えられる [1, 2]。

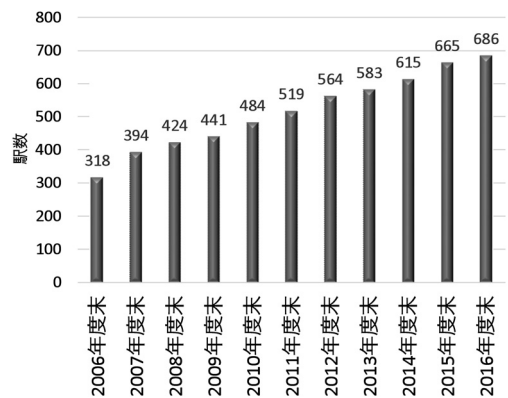


図1 全国のホームドア設置駅数の推移
出典：国交省 HP (http://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk6_000022.html)

そこで本稿では、東京メトロ路線を対象に、ホームドアの設置および設置に伴うワンマン運転化における停車時間変動に着目し、列車運行への影響を考察する。

2. ホームドア構造と停車時間変化

2.1 ホームドアの種類と構造

ここ数年では、さまざまなタイプのホームドアが設置されており、その形式と構造も異なる。フルスクリーンタイプに加え、現在最も多くみられる腰高の可動式ホーム柵タイプ、そして2016年にJR京都線高槻駅で国内初の昇降式ホーム柵タイプが設置された。さらに、駅ホームと車両の間隙を補完する役割として、ホームドアと連動した可動ステップを導入する例もある。

ホームドアは、車両ドアとホームドアの開口位置を合わせる必要があることから、車両の停止位置精度および正確な停止検知が求められる。これらの仕組みとして、軌道側と車両側相互に送受信機を設備し、停止位置の検知や車両ドアおよびホームドアの開閉状態を

あだち しげあき
東京地下鉄株式会社
〒110-8614 東京都台東区東上野 3-19-6
s.adachi@tokyometro.jp

表1 ホームドアと運転形態の種類

運転形態	ホームドア	運転方法	概要
1	未設置	ツーマン運転	運転士と車掌が乗務する一般的な在来線の形態
2	未設置	ワンマン運転	乗降人員が少ない郊外路線などで見られる形態
3	設置	ツーマン運転	混雑既存路線にホームドアを設置した場合に多く見られる形態
4	設置	ワンマン運転	混雑既存路線の一部で見られる形態
5	設置	無人運転	新交通システムなどで見られる形態

相互に送受信することで、安全を確保する方法がある。

また、連動はさせず、停止位置確認および車両ドア・ホームドアの開閉を乗務員がそれぞれ操作・確認する手法も存在する。

新しいタイプのホームドアでは、ホームに設置されたカメラにより車両の停止位置検知を行うことでホームドアを開扉する手法や、車両ドアに貼り付けられたQRコードを読み込むことで、ホームドアの開閉を車両ドアと連動させる手法などさまざまなタイプが開発されている。

2.2 ホームドア設置による運転形態の変化

首都圏の鉄道路線においては、ホームドアの設置に伴い、運転方法の変更を伴う場合がある。従来運転士と車掌が乗務するツーマン運転であった路線を、運転士のみが乗務するワンマン運転に運転形態を変更する路線も見られる。現在首都圏で見られるホームドアの設置有無と運転形態の関係を表1に示す。

ホームドアが設置されておらずワンマン運転を行っている路線は首都圏にはないが、都営大江戸線が開業当初この形態で運行されていた。ホームドアが設置されツーマン運転を行う運転形態は、近年ホームドアが設置された路線の多くで採られている。一方、ホームドアが設置されワンマン運転化された路線として東京メトロ丸ノ内線・有楽町線と光市駅～小竹向原駅間、都営三田線、東京モノレール羽田空港線などがあり、新規路線では東京メトロ南北線・副都心線、つくばエクスプレスなどがある。また、ホームドアが設置され無人運転を行っている路線として、新交通システムのゆりかもめや舎人ライナーが挙げられる。

なお、ワンマン運転や無人運転については、各種支援機器を搭載し安全性の確保が求められている。

2.3 ホームドア設置による停車時間の変化

ホームドア設置においては、情報送受信時間に加え、ホームドアそのものの開閉時間も要することとなる。このことから、新たにホームドアを設置した場合、従来の計画ダイヤに加えて、これらに要する稼働時間（可動ステップが設置されている駅では、可動ステップの

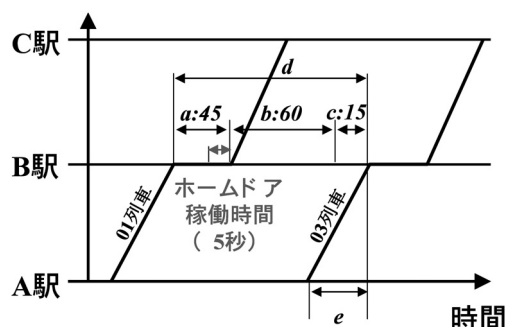


図2 ホームドア設置に伴うダイヤ変化

稼働時間）が必要となる。

輸送力を確保したうえで稼働時間を付加すると、先行列車との発着間隔が縮まるため、朝ラッシュ時間帯のように稠密に運行されている場合、先行列車の停車時間超過による後続列車への遅延伝播リスクが高まる。

まず、図2に示すように、 a を01列車のB駅停車時間、 b を先行列車との安全な間隔を保つために信号設計上最低限確保しなければならない最小運転時隔、 c を余裕時間、 d を a と b と c の合計である列車間隔、 e を後続列車の駅間運転時間と定義する。仮に、01列車がB駅で40秒停車したのち発車し、その後 b が60秒、 c が20秒の合計80秒の発着間隔を設けて後続列車である03列車がB駅に到着するというダイヤがあった場合、ホームドアの稼働時間5秒を01列車の停車時間 a に付加すると、停車時間は45秒に増加し、発着間隔は80秒から75秒に減少する。これは b が信号設備上変わらない前提であれば、余裕時間 c が20秒から15秒に減少するということである。つまり、01列車の停車時間超過により、後続03列車の駅間運転時間 e の超過を招くリスクが5秒分高まることを意味する。

3. 運転形態と駅の特徴による作業の実態

3.1 運転形態による確認作業の変化

ホームドア設置は稼働時間付加が必要になるとともに、運転形態によって鉄道係員が行う停車中の確認作業にも変化を伴う。また、車掌が乗務するツーマン運

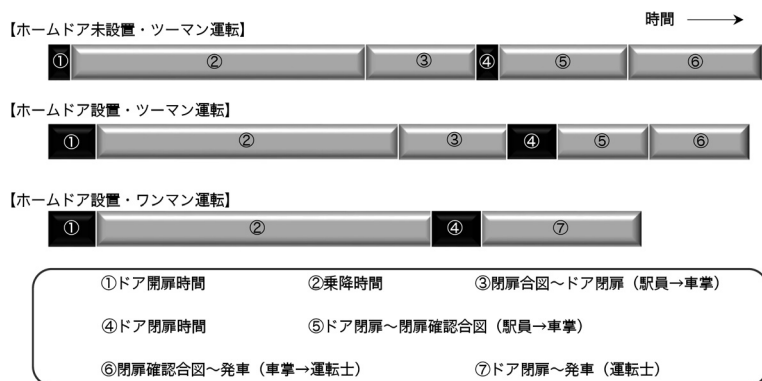


図3 各運転形態における停車時間の構造

転と、車掌のいないワンマン運転では、駅係員の車掌に対する合図がホームドアセンサーに取って代わるため、確認時間が短縮するなどの変化がある。

具体的な作業と時間の関係として、一般的な在来線の多くの形式である運転形態1（ホームドア未設置・ツーマン運転）では、ドア閉扉に際し、駅係員が乗降の状況を確認し車掌へドア閉扉の合図が送られ、車掌がドア閉扉操作を行う。また、ドア閉扉後に、駅係員が車側の安全確認を行った後、車掌へ安全確認完了の旨の合図を送り、合図を確認した車掌は運転士へ出発準備完了の旨の合図を送る。運転形態3（ホームドア設置・ツーマン運転）でもほぼ同様の作業の流れとなるが、ホームドア設置に伴い駅係員の確認範囲が軽減されることで確認時間は若干縮小され则认为られる。

一方、運転形態4（ホームドア設置・ワンマン運転）では、車掌がいないことで大幅に作業が異なる。基本的には、ドア閉扉の際、運転士が車側の確認できるモニタによって閉扉タイミングを取り、駅係員の合図なくドア閉扉する。閉扉後、運転士はホームドアが異常なく閉扉したことを機器で確認し列車を出発させる。各運転形態における停車時間変化のイメージを図3に示す。

そこで、各運転形態のドア閉扉後の時間変化について、2012年から2013年にかけて平日朝ラッシュ時間帯7～9時の現地実測調査を行った。運転形態1（ホームドア未設置・ツーマン運転）の半蔵門線では、混雑駅である表参道駅176個列車、青山一丁目駅152個列車、永田町駅157個列車を調査し、それぞれ平均16.18秒、18.29秒、16.13秒、標準偏差2.37秒、2.87秒、4.17秒であった。

また、運転形態3（ホームドア設置・ツーマン運転）

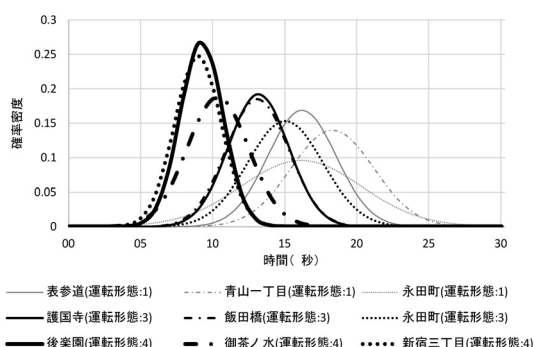


図4 運転形態別のドア閉扉後の時間分布

の有楽町線では、ホームドア設置により車側付近の旅客滞留は運転形態1（ホームドア未設置・ツーマン運転）に比べると縮小され、混雑駅である護国寺駅137個列車、飯田橋駅159個列車、永田町駅161個列車を調査し、それぞれ平均13.16秒、13.08秒、15.02秒、標準偏差2.08秒、2.16秒、2.60秒であった。

そして、運転形態4（ホームドア設置・ワンマン運転）の丸の内線では、後楽園駅128個列車、御茶ノ水駅126個列車、新宿三丁目駅150個列車調査し、それぞれ平均9.23秒、10.35秒、8.97秒、標準偏差1.48秒、2.13秒、1.61秒であった。

ドア閉扉後の時間を正規分布と仮定した場合、図4の分布となった。運転形態1（ホームドア未設置・ツーマン運転）に該当する駅では、平均時間が長く、ばらつきも大きいことがわかるが、ホームドア設置とワンマン化により、それぞれ平均時間もばらつきも縮小されることが確認できる。

3.2 駅の特徴によるドア閉扉および確認作業の変化

運転形態によってドア閉扉後の時間変化は確認されたが、実態調査をすると駅の構造や特徴による時間変動要素も確認された。

表2 駅の特徴の分類と作業時間の安定性イメージ

Case	確認作業	ドア閉扉・確認作業に 支障する旅客滞留	作業時間の安定性		
			ホームドア未設置 ツーマン運転	ホームドア設置 ツーマン運転	ホームドア設置 ワンマン運転
1	合図連携なし	なし			
2	合図連携あり 合図連携なし（時間要する）	なし			
3	合図連携なし	あり			
4	合図連携あり 合図連携なし（時間要する）	あり			

具体的には、ドア閉扉時および閉扉後の確認作業について、ホーム形状が曲線などで駅係員が複数名で確認しなければならない駅では駅係員間での合図の連携が行われ、確認に時間を要する。また、ホームが狭隘のため、降車旅客がホーム上に滞留することで、ドア閉扉や確認時作業に支障をきたす場合に時間を要する。また、これらの状況に加え、ホームドア設置やワンマン運転化により、作業時間の安定性が変化する。表2にCase別に整理した。

Case1は、直線ホームなどで安全確認のために合図連携の必要がなく、ドア閉扉時および安全確認に支障する旅客滞留がない駅で、最も作業時間の安定性が高いと言える。ホームドア設置およびワンマン運転化に従い、安定性はさらに高まる。

Case2は、ドア閉扉時および安全確認に支障する旅客滞留はないが、ホーム形状により合図連携が必要、もしくは合図連携なく一人の駅係員が時間を要して安全確認する駅で、Case1よりは安定性は低くなるが、ホームドア設置およびワンマン運転化に従い、安定性はさらに高まり、ワンマン運転化では合図連携がなくなることでCase1とほぼ同等の安定性となる。

Case3は、ドア閉扉時および安全確認に支障する旅客滞留があり合図連携がない駅で、ホームドア未設置では安定性は低いが、ホームドア設置およびワンマン運転化により安定性は増す。ワンマン運転では、合図連携はないが、滞留があることからCase1やCase2に比べると安定性は低いと考えられる。

Case4は、ドア閉扉時および安全確認に支障する旅客滞留があり、ホーム形状により合図連携が必要、もしくは合図連携なく一人の駅係員が時間を要して安全確認する駅であり、最も厳しい条件の駅である。ツーマン運転時では確認に時間を要するが、ワンマン運転ではCase3と同等の安定性まで向上すると考えられる。

これら整理に基づき、ホームドア設置前後およびワンマン運転化前後の停車時間の変化について次節以降で分析を行う。

表3 有楽町線各駅における停車時間変化

Case	駅名	2009年 11月平均 停車時間	2012年 11月平均 停車時間	稼働 時間	稼働時間を差 し引いた停車 時間変化
1	麹町	35''(5'')	39''(4'')	+5''	-1''
	桜田門	29''(5'')	37''(5'')	+8''	±0''
2	護国寺	42''(10'')	44''(8'')	+8''	-6''
	江戸川橋	43''(9'')	46''(8'')	+8''	-5''
	永田町	49''(6'')	52''(6'')	+8''	-5''
4	飯田橋	47''(8'')	51''(8'')	+5''	-1''
	市ヶ谷	44''(8'')	48''(7'')	+5''	-1''
	有楽町	46''(8'')	49''(7'')	+5''	-2''

※（ ）内は標準偏差を示す。対象列車数は2009年11月が216個列車、2012年11月が144個列車。

4. 運転形態と駅の特徴による停車時間変化

4.1 有楽町線の停車時間変化

4.1.1 ホームドアの設置時期

ホームドア未設置路線でホームドアを設置し、ツーマン運転を継続している場合の変化を分析するため、対象路線として有楽町線を選択した。ホームドア設置は、副都心線開業時の2008年6月に有楽町線と副都心線が供用する小竹向原駅で稼働開始され、そのほかの駅においては、2010～2014年にかけて順次設置・稼働された。

4.1.2 駅の特徴別にみた停車時間の変化

有楽町線のホームドア設置前後の停車時間変化を確認するため、Case別に分類し運転形態1（ホームドア未設置・ツーマン運転）と運転形態3（ホームドア設置・ツーマン運転）の停車時間比較を行う。混雑区間である護国寺駅～有楽町駅間のホームドア設置前後として2009年11月および2012年11月の輸送トラブルのない平日の各日朝ラッシュ24本/hを対象に、各駅を特徴別に停車時間変化を確認したところ、表3のとおりとなった。なお、ホームドアの有無における比較であるため、ホームドア設置における停車時間増分については、ホームドアの稼働時間で+5秒、可動ステップもあれば合計+8秒を基本とし、停車時間変化は当該稼働時間を考慮する。

表4 丸ノ内線各駅における停車時間変化

Case	駅名	2008年6月 平均停車時間	2009年6月 平均停車時間	停車時間 変化
1	新大塚	35"(7")	33"(6")	-2"
	淡路町	47"(6")	46"(8")	-1"
2	後楽園	46"(7")	41"(7")	-5"
	御茶ノ水	36"(6")	34"(8")	-2"
3	茗荷谷	49"(8")	46"(8")	-3"
4	本郷三丁目	45"(6")	38"(6")	-7"

※()内は標準偏差を示す。対象列車数は2008年6月が480個列車、2009年6月が256個列車。

Case1はドア閉扉および安全確認に支障する旅客滞留がなく、合図連携がなく見通しのよいホームであり、ホームドア設置前後で条件はほぼ変わらないため、該当する麹町駅で平均1秒改善、桜田門駅で±0秒という結果となった。

Case2は、ドア閉扉および安全確認に支障する旅客滞留はないが、ホームドア設置前は、狭隘部や曲線度合いの強いホーム形状により安全確認時間を要していた。しかし、ホームドア設置により安全確認範囲が減少したことで、停車時間縮小に寄与したと考えられ、該当する護国寺駅で平均6秒改善、江戸川橋駅で平均5秒改善、永田町駅で平均5秒改善という結果となった。

Case3は該当する駅がなく、Case4ではドア閉扉および安全確認に支障する旅客滞留があり、合図連携も行っていたことから、ホームドア設置前後で安全確認作業が大きく改善されず、該当する飯田橋駅で平均1秒改善、市ヶ谷駅で平均1秒改善、有楽町駅で平均2秒改善という結果であった。

ただし、稼働時間を差し引いた時間では安定性が向上していることが確認されたが、稼働時間を考慮すると停車時間は総じて増加することになる。

また、標準偏差については、麹町駅、護国寺駅、江戸川橋駅、市ヶ谷駅、有楽町駅で改善された。そのほかの駅では同様の値であったが、総じて安定性が向上したと言える。

4.2 丸ノ内線の停車時間変化

4.2.1 ワンマン運転化の時期

ホームドアを設置した後、ワンマン運転化した丸ノ内線は、2006年から2008年にかけて、池袋駅～荻窪駅間にホームドアが順次設置され、2008年3月に同区間で稼働開始、2009年3月から同区間のワンマン運転が開始された。

4.2.2 駅の特徴別にみた停車時間の変化

ワンマン運転実施前後の2008年6月および2009年6月の輸送トラブルのない平日の各日朝ラッシュ32本/hを対象に、新大塚駅～淡路町駅間の各駅をCase

別に停車時間変化を確認したところ、表4のとおりとなった。なお、停車時間変化については、ホームドア設置後の運転形態3と運転形態4の比較を行っているため、ホームドアおよび可動ステップの稼働時間は差し引かず比較を行っている。

Case1は、ドア閉扉および安全確認に支障する旅客滞留がなく、ツーマン運転時は合図連携がなく見通しもよいホームであり、ワンマン運転化に伴い、駅係員・車掌の合図を介さないという点で条件がよくなる。該当する新大塚駅で平均2秒改善、淡路町駅で平均1秒改善という結果となった。

Case2は、ドア閉扉および安全確認に支障する旅客滞留はないが、ツーマン運転時は、狭隘部や曲線度合いの強いホーム形状により安全確認時間を要していた。しかし、ワンマン運転化に伴い、運転士のみ安全確認作業となることで、停車時間縮小に寄与したと考えられる。該当する後楽園駅で平均5秒改善、御茶ノ水駅で平均2秒改善という結果となった。

Case3に該当する茗荷谷駅は、駅係員が一人で時間をかけて安全確認を実施していたが、運転士のみ確認となったことで、平均3秒の改善となった。

Case4に該当する本郷三丁目駅では、ドア閉扉および安全確認に支障する旅客滞留があり、駅係員が一人で時間をかけて安全確認していたことから、平均7秒改善という結果であった。

標準偏差については、新大塚駅で-1秒、淡路町駅で+2秒、御茶ノ水駅で+2秒となったが、ツーマン運転時における各駅6～8秒の標準偏差の範囲であり、大きな変化はなかったと考えられる。

停車時間の変化が確認されたことで、Case別の影響が変化量に与える影響、および路線の特徴も考慮した要因が変化量に与える影響を明らかにすることで、さらなる詳細な分析を次節にて行う。

5. 停車時間変化の要因分析

5.1 有楽町線の分析

有楽町線においては、朝ラッシュ時間帯ピーク1時間に新木場駅方面へ24個列車が走行している。全体的にピーク時間中程にかけて混雑率が上昇する傾向にあり、東武東上線直通列車、西武有楽町線直通列車の他社直通列車が150%を超える高い混雑率となっている。

そこで、停車時間の変化の要因として考えられる、乗降者数の変化、最混雑区間混雑率、Case別の特徴、直通有無、時間帯別の特徴、確認に支障のあるホーム曲線有無を採用し、停車時間と各要因の変化量の関係性

表 5 有楽町線の分析結果

変数(カテゴリー)	係数	t 値	p 値
<i>Int</i>	0.063076	6.267364	2.64E-09
<i>Con</i>	-1.12606	-6.1677	4.45E-09
<i>Case2</i>	-3.45913	-5.40684	2.02E-07
<i>Case4</i>	-0.76214	-1.07756	0.28267
<i>Thr</i>	2.518792	3.945008	0.000114
<i>T_{7:55-8:05}</i>	3.362928	3.74269	0.000245
<i>T_{8:05-8:15}</i>	3.666321	3.816871	0.000186
<i>T_{8:15-8:25}</i>	2.221883	2.186094	0.030099
<i>T_{8:25-8:35}</i>	-0.81088	-0.90242	0.36804
<i>T_{8:35-8:45}</i>	0.699071	0.815915	0.415627
<i>Cur</i>	2.561454	4.003625	9.11E-05

観測数：192 (24 個列車×8 駅)，重相関係数：0.700046

を，重回帰分析により明らかにする。

停車時間の増減は乗降者数や車両混雑率に影響を受けるが，利用可能なデータは存在しないため，列車間隔の増減により乗降人数が増減するという概念に基づき，列車間隔の時間変化を充当する。また，車両混雑率は，分析対象区間の始端区間であり最混雑区間でもある東池袋駅～護国寺駅間の混雑率の影響が大きいと考えられることから，2016 年 11 月の平日 3 日間の当該区間の混雑率データを充当する。直通有無は，有楽町線が和光市始発列車を基本としながら，東武東上線直通運行と西武有楽町線直通運行を実施し，直通運行の混雑率が高いことから，和光市始発列車を基準とした評価を行う。

被説明変数として，ホームドア設置前後のそれぞれの対象期間を比較した場合の，各駅各対象列車の平均停車時間の変化量を ΔD として採用し，説明変数をそれぞれ ΔInt (列車間隔の変化量)，*Con* (最混雑区間混雑率)，および *Case2*，*Case4*，*Thr* (直通運行)，東池袋駅の出発時刻別に，*T_{7:55-8:05}* (7:55～8:05 発車)，*T_{8:05-8:15}* (8:05～8:15 発車)，*T_{8:15-8:25}* (8:15～8:25 発車)，*T_{8:25-8:35}* (8:25～8:35 発車)，*T_{8:35-8:45}* (8:35～8:45 発車)，*Cur* (ホーム曲線) の各ダミー変数とした。分析モデルとして式 (1) を定式化した。

$$\begin{aligned} \Delta D = & \alpha + \beta_1 \Delta Int + \beta_2 Con + \beta_3 Case2 + \beta_4 Case4 \\ & + \beta_5 Thr + \beta_6 T_{7:55-8:05} + \beta_7 T_{8:05-8:15} \\ & + \beta_8 T_{8:15-8:25} + \beta_9 T_{8:25-8:35} + \beta_{10} T_{8:35-8:45} \\ & + \beta_{11} Cur \end{aligned} \quad (1)$$

分析結果を表 5 に示す。東池袋駅～護国寺駅間の混雑率が上昇すると，停車時間は減少することが確認されたことに加え，*Case2* が -3.45913 と最も係数が大きく有意であり，大きな停車時間の縮小効果が確認さ

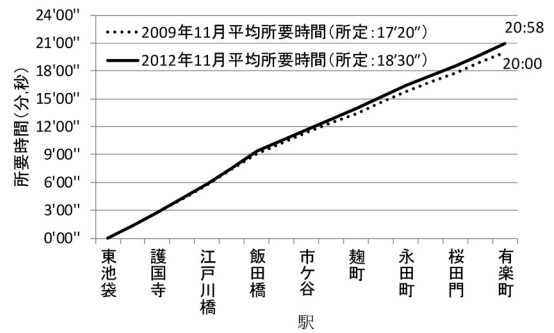


図 5 ホームドア設置前後の所要時間比較

れた。*Case4* においては，有意な結果ではなかった。これは，ホームドアを設置しても，合図や滞留の条件が大きく改善されないためと考えられる。

直通運行別では，和光市始発列車に比べ，直通運行の方が時間を要する結果となった。また，時間帯別では，基準となる 7:45～7:55 以降変化量が増加し，ホーム曲線でも増加することが確認された。

以上より，ホームドアを設置しツーマン運転を継続した場合，旅客滞留がなくても合図連携を行い安全確認に時間を要する *Case2* で停車時間の安定性が高まるとともに，列車の種類では混雑する列車における停車時間の安定性が高まることが判明した。

また，分析対象区間の所要時間を比較したところ，図 5 のとおりとなった。ホームドア稼働時間を 1 分 10 秒分付加し遅延伝播リスクは高まったものの，停車時間の安定性向上により平均 58 秒の所要時間増に抑えられた。

5.2 丸ノ内線の分析

丸ノ内線は，朝ラッシュ時間帯ピーク 1 時間に荻窪駅方面へ 32 個列車が走行している。直通運転は行っておらず，ピーク時間中程にかけて混雑率が上昇する傾向にある。この状況を踏まえ，被説明変数は各列車の平均停車時間の変化量を ΔD として採用し，説明変数をそれぞれ ΔInt (列車間隔の変化量)，*Con* (最混雑区間混雑率)，および *Case2*，*Case3*，*Case4*，池袋駅発車時刻別に *T₁₀₋₂₀* (8:10～8:20 発車)，*T₂₀₋₃₀* (8:20～8:30 発車)，*T₃₀₋₄₀* (8:30～8:40 発車)，*T₄₀₋₅₀* (8:40～8:50 発車)，*T₅₀₋₀₀* (8:50～9:00 発車)，*Cur* (ホーム曲線) の各ダミー変数とした。分析モデルとして式 (2) を定式化した。

$$\begin{aligned} \Delta D = & \alpha + \beta_1 \Delta Int + \beta_2 Con + \beta_3 Case2 + \beta_4 Case3 \\ & + \beta_5 Case4 + \beta_6 T_{10-20} + \beta_7 T_{20-30} + \beta_8 T_{30-40} \\ & + \beta_9 T_{40-50} + \beta_{10} T_{50-00} + \beta_{11} Cur \end{aligned} \quad (2)$$

表 6 丸ノ内線の分析結果

変数(カテゴリー)	係数	t 値	p 値
<i>Int</i>	0.049492	2.967738	0.003408
<i>Con</i>	-0.14069	-4.97147	1.54E-06
<i>Case2</i>	-3.14832	-5.67903	5.35E-08
<i>Case3</i>	-1.45628	-2.62696	0.009358
<i>Case4</i>	-8.76387	-10.3497	5.41E-20
<i>T₁₀₋₂₀</i>	1.08183	1.545934	0.123877
<i>T₂₀₋₃₀</i>	1.400223	1.734832	0.084482
<i>T₃₀₋₄₀</i>	1.624692	2.45744	0.01494
<i>T₄₀₋₅₀</i>	0.575135	0.896223	0.371331
<i>T₅₀₋₆₀</i>	-3.67896	-4.00596	9.03E-05
<i>Cur</i>	2.817621	4.40194	1.84E-05

観測数：192 (32 個列車 × 6 駅)，重相関係数：0.730868

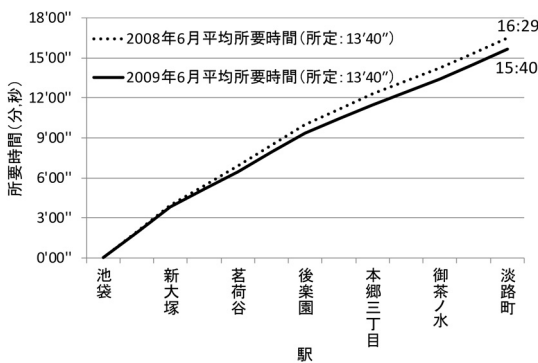


図 6 ワンマン運転化前後の所要時間比較

分析結果を表 6 に示す。Case 別カテゴリーにおいてはすべて有意な結果となり，Case3 が -1.45628 ，Case2 が -3.14832 ，Case4 が -8.76387 の順でレンジ幅が大きくなった。つまり，合図連携や旅客滞留による確認作業が軽減されたことが大きな効果を得た結果となった。また，混雑率が増加すると停車時間縮小効果が確認された。時間帯別カテゴリーでは，8：00～8：10 を基準に，8：30～8：40 が有意に増加し，8：50～9：00 が有意に減少したが，その他時間帯においては，基準時間帯と比べ大きな混雑変化がないため有意に働かなかったのではないかと考えられる。

また，分析対象区間の所要時間を比較したところ，図 6 のとおりとなった。ワンマン運転化による確認作

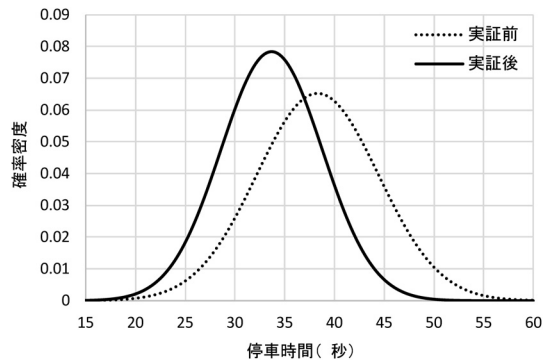


図 7 桜田門駅実証前後の停車時間分布

業の運転士への一元化により停車時間の安定性向上が図られ，平均 49 秒の所要時間短縮となった。

6. おわりに

本稿では，ホームドアを設置した場合および設置に伴うワンマン運転化による停車時間の変化について，駅係員の確認作業や旅客滞留状況に着目することで，運転形態および Case 別に分類し分析を行い，ホームドア設置およびワンマン運転化による停車時間の安定性向上や所要時間短縮効果を定量的に確認することができた。

また，2017 年に有楽町線桜田門駅において，車掌が駅係員の合図を受けることなくモニタによる安全確認に代替する実証実験を行い，図 7 に示すとおり実施前後の特定の日を比較したところ停車時間が短縮された。

今後，このような作業面での変化や，新たなタイプのホームドアなど，安全性向上に加えて運行安定性向上も実現できるホームドアの導入を検討していきたい。

参考文献

- [1] 足立茂章，高見淳史，原田昇，是澤正人，“ホームドア導入における列車運行安定性に関する研究，”土木学会論文集 D3 (土木計画学)，**73**，pp. 73–84，2017.
- [2] S. Adachi, N. Harata, K. Takami and M. Koresawa, “Research on train operation stability by the installation of platform doors,” In *Proceedings of the 15th International Conference on Railway Engineering Design and Operation*, Paper DOI: 10.2495/CR160011, 2016.